

Simulační model automobilu pro testování řídicích jednotek ABS

Radim Klečka

Testování řídicích jednotek v reálném automobilu je často časově náročné a drahé. Navíc není možné opakovaně navodit stejnou jízdní situaci. Časově a cenově efektivnějším způsobem je simulace s využitím metody Hardware In the Loop (HIL). Metoda spočívá v propojení skutečné řídicí jednotky se simulátorem, který v reálném čase simuluje odpovídající okolí. Článek popisuje využití metody HIL pro testování řídicích jednotek systému ABS, který zabráňuje zablokování kol během fáze brzdění.

1. Úvod

Než dojde k sériovému zavedení nových řídicích systémů, je nutné rozsáhlé a nákladné zkoušení v reálných podmínkách na testovací trati nebo na zkušebním stavu. Metoda HIL umožňuje nahradit skutečné vozidlo matematickým modelem v počítači. Při simulaci se generují signály nahrazující skutečné snímače a komunikační sběrnice (CAN, LIN), které vstupují do řídicí jednotky. Na tyto signály reaguje určitými akčními zásahy, přičemž výstupy z řídicí jednotky zpětně vstupují do matematického modelu. Lze také simulovat situace, které není možné navodit při reálném testování. Další výhodou je opakování zkoušek při stejných provozních podmínkách. Metoda HIL se v dnešní době stává standardním nástrojem pro vývoj a testování řídicích jednotek jak v automobilovém průmyslu, tak i v dalších odvětvích.

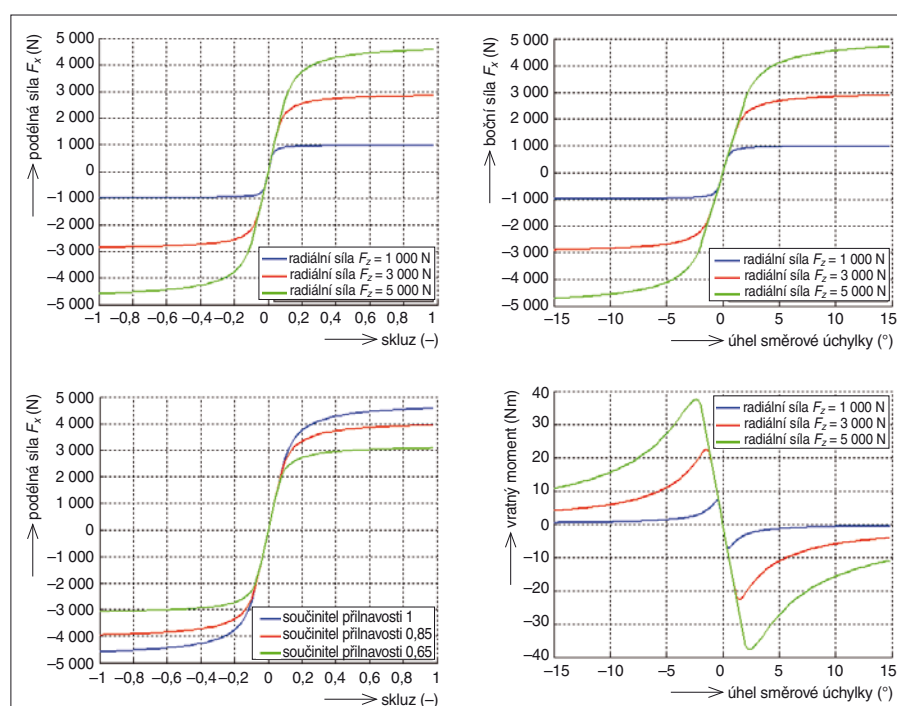
2. Matematický model vozidla

Při simulaci směrové dynamiky automobilu lze v závislosti na složitosti volit různé matematické modely. Nejjednodušší je *jednostopý rovinný model*, tedy model s nulovým rozchodem kol. Na rozdíl od dvoustopého jsou zde uvažovány boční a hnací síla působící na nápravu. Boční síla na přední nápravě je např. dána součtem sil působících na přední pravé a přední levé kolo. Model je možné pro zjednodušení linearizovat. To lze uskutečnit pouze při malých hodnotách úhlu směrové úchytky těžiště vozidla a s tím souvisejícího úhlu natočení předních kol.

Lepší představu o dynamickém chování vozidla je možné získat pomocí *dvoustopého rovinného modelu*, u něhož je rozchod kol nenulový. Zde lze na rozdíl od jednostopého modelu sledovat průběh rozložení bočních sil při průjezdu zatáčkou.

Rozsáhlejší a složitější variantou je *prostorový model*. Ten umožňuje komplexně vyšetřovat průběhy ve všech směrech. Lze jej vytvořit jak pro ustálenou, tak i neustálenou rychlost jízdy. Pro důkladnější a přesnější ověření řídicí jednotky stabilizačního systému ABS byl využit právě prostorový model vozidla, který má deset stupňů volnosti a je

bu vozidla. V dnešní době existuje množství různých variant modelů pneumatiky. Velmi reálné modely jsou většinou příliš komplikované na to, aby je bylo možné použít v různých fázích vývoje. Nepoužitelné jsou také nejjednodušší modely, protože poskytují korektní výsledky pouze např. pro malé hodnoty směrové úchytky kola a nedokážou popisovat



Obr. 1. Směrové charakteristiky pneumatiky pro model HSRI

určen pro neustálenou rychlost jízdy. Současně se uvažuje působení podélných, příčných a radiálních sil na každém kole. To vyžaduje použití modelu pneumatiky a výpočet radiálních sil na jednotlivých kolech. Součástí je i náhradní model řídicího ústrojí.

3. Model kola a pneumatiky

Kola automobilu během jízdy vykonávají rotační a podélný pohyb. Následně lze sestavit dvě pohybové rovnice. První popisuje pohyb v podélném směru a druhá rotační pohyb [2], [4].

Navazující model pneumatiky představuje důležitou část celého simulačního schématu automobilu. Síly vznikající mezi pneumatikou a vozovkou mají hlavní vliv na chování pohybujícího se vozidla. Proto je správný model pneumatiky nezbytnou součástí modelu, který je určen pro analýzu a simulaci pohy-

tu situací, kdy je kolo, resp. vozidlo ve smyku [1], [3]. Pro simulaci automobilu lze použít tyto varianty modelu pneumatiky:

- HSRI,
- semiempirický model Magic Formula,
- F-Tire,
- TM-Easy,
- SWIFT-Tyre.

3.1 Model HSRI

Nelineární matematický model HSRI má tyto vstupy: radiální reakce kola, úhel směrové úchytky kola, podélná rychlost kola a úhlová rychlost kola. Na základě znalosti podélné a úhlové rychlosti je vypočítán skluz. Výpočet obvodové a boční síly se liší podle toho, zda ve stopě vzniká nebo nevzniká smyk. Pro rozlišení těchto dvou případů je zavedena pomocná veličina s_R , jejíž mezní hodnota je 0,5.

Směrové charakteristiky pneumatiky pro matematický model HSRI ukazuje obr. 1. Zde je vykreslen průběh podélné síly F_x a boční síly F_y při různých velikostech radiální reakce F_z . Dále je zde průběh podélné síly F_x při různých součinitelích přilnavosti a hodnota vratného momentu v závislosti na úhlu směrové úchytky.

3.2 Semiempirický model

Tento matematický model se velmi často používá v různých oblastech. Někdy bývá také označován jako Pacejka Magic Formula podle jména jeho autora. Základem tohoto modelu je rovnice 1

$$y(x) = D \sin(C \arctan(Bx - E(Bx - \arctan(Bx)))) \quad (1)$$

kde B , C , D , E jsou bezrozměrné parametry modelu pneumatiky. Pomocí rovnice 1 se vypočítá podélná síla F_x , popř. boční síla F_y s ohledem na proměnou x . Zde jde buď o skluz, nebo o úhel směrové úchytky kola.

4. Tvorba simulačního schématu

Matematický model je realizován v prostředí simulačního programu Matlab/Simulink. Pro velký počet pohybových rovnic je celý prostorový model vozidla vytvořen jako S-funkce. Stejným způsobem je vytvořen i model pneumatiky. Součástí simulačního schématu je i zjednodušený model motoru a převodovky.

Pro dosažení finální podoby simulačního schématu (včetně definice vstupů a výstupů) se přeloží model do kódu umožňujícího běh aplikace v reálném čase v procesoru simulátoru. Pro tyto účely se využívá nástroj Real-Time Workshop. Vygenerovaný kód se následně nahraje do simulátoru, kde již může běžet zcela nezávisle na připojeném PC. V praxi je ovšem žádoucí možnost zasahovat do procesu simulace nebo alespoň získávat informace o právě probíhajícímu procesu. K tomuto účelu se využívá program ControlDesk, ve kterém je vytvořen odpovídající řídicí panel. Panel zobrazuje palubní desku s informačními prvky (ukazatel rychlosti, otáček, polohy atd.) a ovládacími prvky umožňujícími zadávat vstupní hodnoty (poloha plynového pedálu, poloha brzdového pedálu, manuální řazení, natočení volantu). Dále následují panely zobrazující zprávy ze sběrnice CAN. Počet těchto panelů je závislý na počtu přijímaných, popř. vysílaných zpráv.

5. Využití simulací HIL k testování řídicích jednotek ABS

Pro testování metodou HIL byl použit simulátor dSPACE. Ten je propojen jak s odpovídajícím vývojovým počítačem, tak s reálnou řídicí jednotkou ABS. Počítač je v závislosti na komunikační kartě připojen buď optickým kabelem, nebo nestíněným kabe-

lem se splétanými páry vodičů (UTP). Vlastní simulátor je vybaven procesorovou kartou DS1005, která provádí výpočet aplikace v reálném čase. Karta DS1005 je založena na procesoru PowerPC 750GX s frekvencí 1 GHz a je přímo propojena se všemi kartami I/O dSPACE prostřednictvím rychlé 32bitové sběrnice PHS (Peripheral High-Speed). Použitím přídavného zařízení může procesorová

která se bere v úvahu při regulaci brzdového tlaku. Každá změna rychlosti otáčení jednoho nebo více kol je tak spolehlivě rozpoznána. Příliš velké snížení počtu otáček během daného časového intervalu, resp. ve vztahu k referenční rychlosti, signalizuje nebezpečí zablokování kola. Informace ze snímače do řídicí jednotky je přenášena jako příložený proud 7 a 14 mA, přičemž měřicí odpor je 115 Ω.

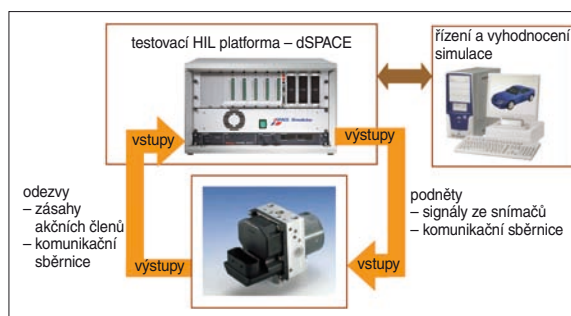
Pro simulaci výstupu snímače otáček kola byl využit digitální signálový procesor (DSP), který je součástí karty DS2211. Konkrétně jde o model TMS320VC33 od firmy Texas Instruments. DSP umožňuje vytvářet vlastní aplikační (uživatelské) kódy pro generování specifických signálů. Pro tyto účely musí být nainstalován odpovídající kompilátor ANCI-C. Simulace snímače otáček kola je tvořena kódem pro DSP a S-funkcí v programu Simulink a představuje nový blok v simulačním modelu. Pro fyzické propojení simulátoru se vstupy řídicí jednotky ABS jsou využity čtyři D/A převodníky s průchodem přes transformátor. Uvedená metoda je použitelná i pro kartu DS2210.

Řídicí jednotku je nutné připojit ke sběrnici CAN, aby mohla získávat informace z dalších řídicích jednotek, popř. snímačů, akčních členů atd. V případě ABS jsou vyžadovány informace z motorové jednotky, převodovky, jednotky palubních přístrojů atd. Karty I/O DS2211 a DS2210 obsahují rozhraní CAN umožňující připojit dvě nezávislé sběrnice CAN (dva kanály).

Správnou simulací snímačů a komunikačních sběrnic jsou aktivovány regulační zása-



Obr. 2. Palubní deska s ovládacími prvky v programu ControlDesk



Obr. 3. Schéma principu testování HIL

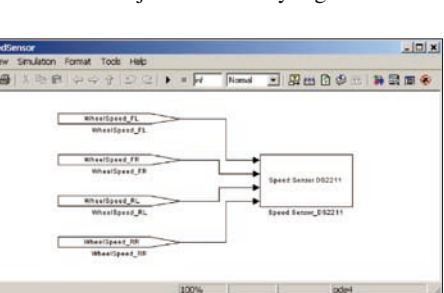
karta spolupracovat s další kartou DS1005, čímž se vytvoří multiprocesorový systém. Simulátor dále obsahuje kartu I/O DS2211, která je nástupcem starší verze DS2210 a je navržena především pro použití v elektronice automobilů. Je přizpůsobena pro simulaci a měření signálů v automobilech, zvláště se zaměřením na motor a dynamiku pohybu vozidla. Společně s procesorovou kartou představuje základ simulátoru. Procesorová karta provádí výpočet modelu v reálném čase (např. modelu motoru nebo směrové dynamiky) a DS2211 měří a simuluje veškeré vstupní a výstupní signály. V jednom simulátoru může být podle potřeby umístěna jedna, dvě nebo i více karet I/O DS2211.

Aby daná řídicí jednotka fungovala, resp. začala provádět požadované akční zásky, je nutné zaručit správné napájení a dodat veškeré informace o aktuální jízdě situaci. To znamená přivést výstupy ze snímačů a připojení komunikačních sběrnic.

U řídicí jednotky ABS jsou použity čtyři snímače otáček kol. Z naměřených údajů systém ABS vypočítá referenční rychlost vozidla,

jednotky, převodovky, jednotky palubních přístrojů atd. Karty I/O DS2211 a DS2210 obsahují rozhraní CAN umožňující připojit dvě nezávislé sběrnice CAN (dva kanály).

Správnou simulací snímačů a komunikačních sběrnic jsou aktivovány regulační zása-



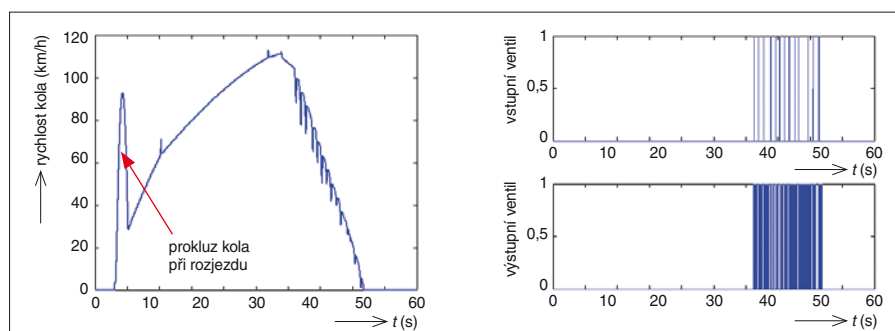
Obr. 4. Výstup snímače otáček kola pro kartu DS2211

hy řídicí jednotky do jízdě situace. U ABS to znamená aktivaci čtyř vstupních a čtyř výstupních ventilů pro regulaci brzdového tlaku. Pro snímání stavů na těchto ventilech je využit odpovídající snímací modul a osm digitálních vstupů na simulátoru dSPACE. Tato informace následně vstupuje do bloku matematického modelu dynamiky vo-

zidla představujícího brzdové zařízení automobilu.

6. Simulační testovací jízda

Správné fungování simulace HIL řídicí jednotky ABS bylo ověřováno simulační testovací jízdou. Vozidlo nejprve zrychlovalo z klidu až na rychlost 111 km/h. V čase 31 s byl plně sešlápnut brzdový pedál, přičemž vozidlo se v daný okamžik nacházelo na hladkém povrchu. Díky akčním zásahům řídicí jednotky ABS nedošlo k zablokování kola. V grafu na obr. 5a lze sledovat průběh snižování rychlosti pravého předního kola. Zásahy řídicí jednotky prostřednictvím vstupního a výstupního ventilu ukazují graf na obr. 5b.



Obr. 5. Simulační zkušební jízda: a) průběh rychlosti předního pravého kola, b) stav vstupního a výstupního ventilu pro pravé přední kolo

7. Závěr

Simulační metoda HIL má velmi široké možnosti využití. Uplatňuje se v letectví, armádě, automobilovém průmyslu apod. Používá se především pro simulaci elektromechanických systémů, které jsou řízeny elektronickou řídicí jednotkou. Použitím simulace HIL se lze přiblížit skutečnosti, neboť řídicí systém a jeho připojení ke snímačům, komunikačním sběrnicím a akčním členům jsou provedeny tak, jak tomu bude i ve skutečnosti. Díky nezávislosti na reálné řízené soustavě lze simulovat i takové poruchy, které si ve skutečných podmínkách nelze dovolit vyvolat. Uvedenými postupy je možné odhalit mnoho skrytých chyb.

Pro účely testování bezpečnostního systému ABS je třeba vytvořit odpovídající matematický model. Dynamika pohybu vozidla je však natolik komplexní problém, že je nutné stanovit určitý kompromis mezi složitostí, přesností a náročností na výpočetní výkon. Nedílnou součástí matematického modelu automobilu je model pneumatiky, který poskytuje informace o silách působících v místě styku kola s vozovkou.

Projekt je realizován v rámci spolupráce Škody Auto s katedrou automatizační techniky a řízení VŠB-TU Ostrava.

Literatura:

- [1] KIENCKE, U. – NIELSEN, L.: *Automotive Control Systems For Engine, Driveline, and Vehicle*. 2. vyd., Springer, Berlin, 2005, 512 s., ISBN 3-540-23139-0.
- [2] KORTÜM, W. – LUGNER, P.: *Systemdynamik un Regelung von Fahrzeugen*. 1. vyd. Springer, Berlin, 1993, 355 s., ISBN 3-540-57275-9
- [3] MITSCHKE, M. – WALLENTOWITZ, H.: *Dynamik der Kraftfahrzeuge*. vyd. Springer, Berlin, 2004, 806 s., ISBN 3-540-42011-8.
- [4] VLK, F.: *Dynamika motorových vozidel*. 1. vyd., Nakladatelství a vydavatelství VLK, Brno, 2000, 434 s., ISBN 80-238-5273-6

Ing. Radim Klečka
(radim.klecka@gmail.com)

Prvky pro automobilový průmysl od firmy SMC

Firma SMC Industrial Automation CZ je součástí největšího koncernu SMC Corporation Japan, významného světového dodavatele pneumatických prvků pro průmyslovou automatizaci. Kromě prodeje standardních prvků se firma soustřeďuje také na vývoj komponent určených pro čtyři odvětví – elektronické, lékařské, potravinářské a automobilové. Článek stručně seznamuje s několika prvky určenými hlavně pro automobilový průmysl, především pro náročná prostředí svařoven.

Středící a upínací válce

Pro přesné prostorové ustavení dílů, které je např. nutné k sobě svařit, se používají středící válce s upínacím trnem. Pomocí těchto válců se jednak nastaví přesná poloha dílu, např. karoserie při svařování, jednak se svařované díly vzájemně zachytí. Středící trny jsou k dispozici pro otvory o průměrech 13, 15, 16, 18, 20, 25 a 30 mm, zdvih upínacích trnů lze nastavit pro plechy tloušťky 0,5 až 3 mm. Válců lze dodat v provedení, které umožňuje použít vzduchem ovládané uzamčení trnu v upnuté poloze.

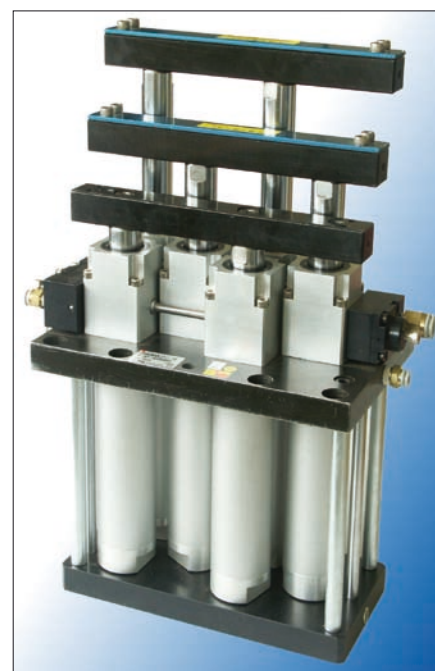
Válcové bloky

Dalším prvkem vyvinutým cíleně pro automobilový průmysl jsou bloky dvojic válců, pro

které se spíše vžil anglické označení *manifold cylinders* (obr. 1). Tyto válce jsou určeny především pro výrobu více modelů na jedné svařovací lince. Přesnost polohy je zajištěna tuhou konstrukcí a aretací nastavené polohy. Na jednotlivé trámce je možné umístit nejenom podpírací prvky, ale i celé upínací systémy.

Úchopné hlavice

Kromě standardních úchopných hlavice dodává firma SMC také celou řadu hlavice, které jsou určeny a upraveny pro použití v automobilovém průmyslu. Patří mezi ně např. dvoučelistové samosvorné úchopné hlavice MHT2 s nestandardními úhly otevření čelistí, tříčelistové hlavice MHS3 s vestavěnou pružinou a úchopné hlavice určené pro manipulaci s plechy MH90.



Obr. 1. Bloky dvojic válců (manifold cylinders) firmy SMC pro linky na výrobu automobilů